



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



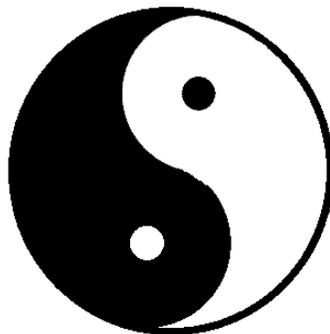
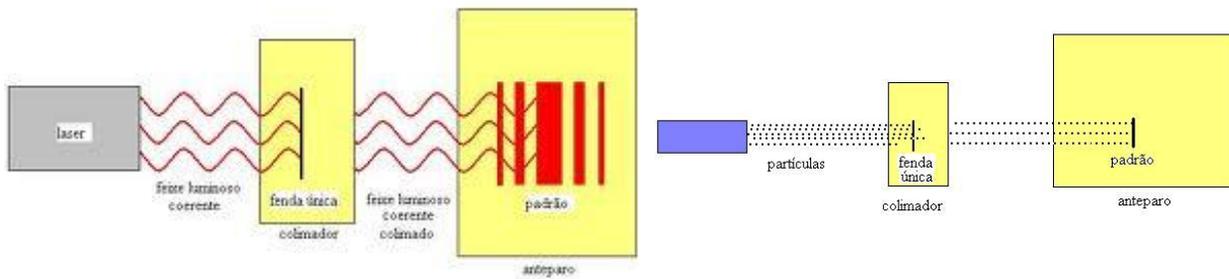
INSTITUTO DE FÍSICA

Física V - 4300311

Período: noturno

1º Semestre de 2012

Informações Gerais



Prof.^a Maria José (Mazé) Bechara



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



INSTITUTO DE FÍSICA

Física V – 4300311 - período noturno

2º SEMESTRE de 2012

Prof.^a Maria José (Mazé) Bechara

apresentação

O objetivo prioritário da disciplina é uma introdução à Física Quântica. Nela são estudados alguns fenômenos e as idéias para descrevê-los que fizeram a transição da física clássica para a física quântica, até as bases da nova teoria, a mecânica ondulatória de Schroedinger, e algumas de suas aplicações.

Estes fenômenos e idéias estão associados ao entendimento do que é mais "íntimo" naquilo que compõe o universo físico: a matéria e a radiação eletromagnética. Neste sentido esta disciplina estuda a visão atual *da estrutura da matéria e da radiação eletromagnética* nas ciências físicas.

A disciplina será focada no entendimento dos fenômenos que não podiam ser descritos na física clássica, e que levaram às propostas de novas concepções sobre o universo físico e a compreensão dos fenômenos. Este entendimento será trabalhado em nível científico e teórico, o que inclui a quantificação que é feita na linguagem matemática.

É bom ter em mente que a (indispensável) instrumentalização na linguagem matemática não leva automaticamente à compreensão das concepções físicas e nem dos resultados quantitativos. Mas também que a física é ciência que chega a resultados quantitativos teóricos, e que são inspiradores de concepções e outro nível de entendimento dos fenômenos físicos.

No desenvolvimento da disciplina teremos a oportunidade de nova reflexão sobre os conceitos da Física clássica e de seus limites de validade, trabalhados implícita ou explicitamente nas disciplinas anteriores. Além disso se iniciará a construção da concepção quântica da Física. Outros fenômenos observados e compreendidos teoricamente nos séculos XX e XXI serão tratados nas diversas disciplinas que seguem na estrutura curricular do curso de bacharelado em Física, a partir das bases aqui trabalhadas.

Para atingir os objetivos pretendidos: a compreensão de novos processos e fenômenos, as concepções, modelos e teorias básicos da física quântica, e a consolidação do conhecimento da física clássica, o caminho é o mesmo para se apropriar de qualquer conhecimento humano: ***espírito aberto e crítico e um real envolvimento na busca deste conhecimento.***

Do ponto de vista de **ações** são necessárias diferentes estratégias. As **que envolvem diálogos**: a efetiva participação nas aulas, a discussão dos temas com colegas, professora e monitor da disciplina. Mas também **o trabalho pessoal**: a leitura crítica de textos sobre o assunto, a aquisição de competência técnica, que no caso de disciplina teórica inclui a linguagem matemática e não dispensa o entendimento de experimentos, do que é mensurável, dos processos, resultados e interpretações.

Cada indivíduo precisa mais de uma ou de outra estratégia para chegar à compreensão necessária, mas **nenhum tipo de envolvimento do aprendiz é dispensável**.

No texto que segue são apresentados aspectos organizativos da disciplina tais como: a sala de aulas, horários, **data de provas, regras da disciplina e critérios, incluído o da avaliação**; mas também **informações substantivas**: uma visão do ensino/aprendizado na disciplina, **a ementa detalhada, e referências bibliográficas**.

INFORMAÇÕES GERAIS

professora: Mazé (Maria José) Bechara, sala 117 do Ed. Oscar Sala, ramal 7050 ou 6942; email: bechara@if.usp.br.

sala de aulas: Sala 202 da "Ala" II do Ed. Principal

horário: terças-feiras: 19h às 20h45
quintas-feiras: 19h às 20h45
sextas-feiras: 21h às 22h50

Observação: Todas as informações e material didático estarão disponíveis na página da disciplina no Moodle Stoa – INSCREVA-SE!

guias de trabalho

A disciplina terá "guias de trabalho" para cada um dos **tópicos** nos quais organizamos o conteúdo. A organização do conteúdo envolve uma visão do que é mais relevante e com que ênfase será tratado cada tema na disciplina.

Os "guias" conterão os objetivos específicos do tópico, a listagem detalhada dos temas, referências e sugestões de questões para serem trabalhadas de forma independente pelos estudantes, sempre visando o aprendizado das concepções e dos procedimentos técnicos para se chegar a resultados quantitativos com efetiva compreensão.

Use esses guias como ponto de partida **para construir a sua forma própria de trabalhar, sempre visando apreender**.

Atendimento da professora

Para facilitar o contato individual ou de pequenos grupos de alunos com a professora haverá uma hora semanal, fora do horário de aulas, **reservado** para atendimento dos estudantes da disciplina, **embora a professora possa ser procurada em outros horários** em sua sala de trabalho no IFUSP.

O horário deste atendimento será acordado na primeira aula do semestre.
Não se iniba, estas consultas podem ser úteis ao seu aprendizado!

provas

A disciplina terá como avaliação quatro **provas**.

A última prova abrangerá todo o conteúdo da disciplina e é obrigatória a todos os estudantes. Esta prova é uma oportunidade dos estudantes revisitarem o conteúdo da disciplina de forma articulada, compreendendo a evolução das idéias de quantização na Física.

datas: **1^a. Prova: 14 de setembro (sexta-feira)**
2^a. Prova: 19 de outubro (sexta-feira)
3^a. Prova: 23 de novembro (sexta-feira)
prova final obrigatória: 29 de novembro (quinta-feira)

Local das provas: Aud. A. de Moraes

observações:

1. A **contestação** da correção e/ou da nota de **cada prova** só poderá ser feita **até uma semana depois de entregue aos estudantes**. É responsabilidade do aluno estar atento a esta entrega. A correção das provas fazem parte das ações para o aprendizado. A nota não deve ser motivo de barganha entre aluno e professor por ocasião do final do semestre.

2. O **atraso máximo** permitido nos **dias de prova** é de **dez minutos**. **Por favor, não insista em entrar** após esse prazo. É nosso entendimento que **o compromisso com o horário faz parte da formação profissional**.

critério de aprovação:

média ≥ 5 e 70% ou mais de freqüência REAL às aulas

$$\text{nota (primeira avaliação)} = \frac{p_i + p_j + p_o}{3}$$

- p_i e p_j são as duas melhores notas entre as três primeiras provas;
- p_o é a nota da prova final obrigatória;

outros critérios

1. A presença às aulas é indispensável pela constatação de que pouquíssimas pessoas são efetivamente autodidatas.
2. A frequência será dada pela assinatura do estudante nas listas de presença.
3. Só **devem assinar** as listas de presença **os estudantes efetivamente participantes de pelo menos 70% da aula, como exige a nossa irrepreensível ética**. Haverá nisto um pacto de confiança entre professora e alunos, que esperamos seja mantido até o final do semestre.
4. Os alunos que **provarem seu autodidatismo com média de provas superior a 5,0** poderão ter suas presenças aproximadas.
5. Para ter direito à **2ª avaliação**, com **prova de recuperação**, o aluno deve ter **nota maior ou igual a 3,0** na primeira avaliação, e **70% ou mais de efetiva presença às aulas**.
6. A nota da **segunda avaliação** será a **média ponderada da nota da primeira avaliação (peso 1) e da nota da prova de recuperação (peso 2), ou seja:**

$$nota(2^a\ avaliação) = \frac{2 \times \text{prova de recuperação} + \text{nota}(1^a\ avaliação)}{3}$$

bibliografia:

livros textos (alternativos): a leitura de pelo menos um deles é indispensável.

1. ***Física quântica* - Eisberg e Resnick**. Há vários exemplares na biblioteca e o texto é em português. Este é um livro um tanto antigo, mas ainda é bom para essa disciplina,. Ele **não tem** o tópico 1 de forma conveniente;
2. ***Notas de aulas do Prof. Roberto Ribas (IFUSP)***, no seguinte endereço na Internet: <http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/arquivos.html>. Um bom texto em português. Não contém a parte final do tópico IV.
3. ***Modern Physics for Scientists and Engineers* - Stephen. T. Thornton e Andrew Rex (T-Rex) (copyright 2000)**. A abordagem deste texto é concisa, mas em geral substantiva. Ele aborda praticamente todos os assuntos da Física do século XX. Há exemplares na biblioteca.
4. ***Modern Physics* - Serway, Moses e Moyer (copyright 2000)**. É um texto equivalente ao T-Rex. Há uma edição que inclui disquete com questões/simulações muito interessantes. Há exemplares na biblioteca.
5. ***Introduction to Atomic Physics* - Enge, Wehr e Richards**. Este texto também é conciso e substantivo. É um tanto antigo visualmente, mas interessante na abordagem. A biblioteca deve ter vários exemplares.

outras referências:

1. ***Física Moderna* - Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn**; terceira edição - traduzido para o português pela editora LTC. Este texto é um tanto resumido demais, dificultando o

entendimento de alguns tópicos. É bom como uma segunda leitura que resume o essencial, ou para consulta após um estudo mais extensivo.

2. **FÍSICA MODERNA – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos – Francisco Caruso e Vitor Oguri**; Editora Campus (2006). Este texto é muito interessante no que concerne à ligação entre a visão clássica e a quântica, com muitas referências dos trabalhos originais. Vale a pena consultá-lo com frequência.

ementa da disciplina (como consta do Júpiter):

Evidências para uma descrição atômica da matéria. Teoria cinética dos gases. Distribuição de Boltzmann da energia. Evidências experimentais para a quantização da radiação eletromagnética: o problema do corpo negro, calor específico dos sólidos, efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação do par elétron-pósitron. O modelo de Rutherford e o problema da estabilidade dos átomos, o modelo de Bohr. A dualidade onda-partícula no caso da radiação eletromagnética. Difração de raios-X e de elétrons. A hipótese de de Broglie e a dualidade partícula-onda. Pacotes de onda, velocidade de grupo e relações de incerteza. A equação de Schroedinger unidimensional dependente do tempo. Discussão de algumas soluções estacionárias da equação de Schroedinger com potenciais constantes unidimensionais. A equação de Schroedinger em três dimensões. Partícula da caixa cúbica. Degenerescência. A equação de Schroedinger para potenciais centrais e átomo de hidrogênio na mecânica quântica.

conteúdo detalhado que será trabalhado na disciplina:

Um programa ou ementa se concretiza quando realizada. A ementa detalhada deixa mais clara a abordagem e indica o nível do conhecimento que será trabalhado e avaliado na disciplina.

I. Estrutura da matéria no contexto da física clássica tempo previsto ~ 06 aulas (de 100 minutos)

I.1. **Concepções gerais da Física Clássica:** determinismo e características dos movimentos de partículas e de ondas.

I.2. **Modelos mecânicos (determinísticos) de matéria** gasosa, sólida e líquida. A interpretação estatística para a temperatura e energia interna termodinâmica.

I.3 **Bases da mecânica estatística clássica (determinística) de Maxwell - Boltzmann:**

- (1) Hipóteses básicas da mecânica estatística clássica;
- (2) O teorema de Boltzmann para distribuições do espaço de fase (posição e velocidade) de sistemas clássicos;

- (3) Distribuições de velocidades, módulo de velocidades e de energia cinética a partir do teorema de Boltzmann para a matéria. O conceito de temperatura e de energia na mecânica estatística;
- (4) A equipartição da energia a partir do teorema de Boltzmann, as energias internas e os calores específicos molares a volume constante de gases e sólidos. Comparação com os experimentos;
- (5) Modelo mecânica (cinético) para os sólidos. Os sólidos condutores no modelo de Drude. Sucesso e fracasso no valor do calor específico molar a volume constante na previsão da Mecânica estatística clássica.

II. Fenômenos físicos e o caráter dual da radiação eletromagnética: onda e partículas – os fótons. Tempo previsto: ~10 aulas

II.1 A radiação de um corpo real por efeito de temperatura e a radiação do corpo negro: resultados experimentais. O fracasso das previsões da teoria clássica do eletromagnetismo e da mecânica estatística clássica dos sólidos para descrever a emissão do corpo negro. A catástrofe do ultravioleta no contexto de Rayleigh e Jeans. **A proposta de Planck que permitiu a descrição das observações do corpo negro – o início da Física Quântica.**

II.2 A proposta do caráter corpuscular da radiação eletromagnética por Einstein - os fótons.

- (1) Comparação da quantização de Planck com a de Einstein.
- (2) O número de fótons por área e tempo que garante a compatibilidade entre as descrições ondulatória e corpuscular da radiação eletromagnética na intensidade da radiação eletromagnética monocromática e harmônica.

II.3 Fenômenos que evidenciam o caráter corpuscular da radiação:

- (1) o **efeito fotoelétrico** com luz e ultravioleta;
- (2) o espalhamento de raios-X e γ com mudança de comprimento de onda - **efeito Compton**;
- (3) A **produção e a aniquilação de** pares de partícula-antipartícula;
- (4) **O espectro de raios-X** produzidos na desaceleração de feixe de elétrons na matéria pesada.

II.4 A absorção e espalhamento da radios-X e gama pela matéria – compatibilidade das descrições ondulatória e corpuscular e o conceito de seção de choque. **A competição entre os fenômenos de absorção:** efeito fotoelétrico e produção do pares, **e de espalhamento:** sem (Thomson) e com mudança no comprimento de onda (Compton). A seção de choque total.

III. Modelos atômicos, as primeiras “regras” de quantização e o caráter dual da matéria: partícula-onda.

Tempo previsto: ~11 aulas

III.1 modelos atômicos e as primeiras regras de quantização

III.1.1 Os espectros discretos de radiação emitida e absorvida por substâncias gasosas indicando quantizações nos átomos – o que são, como são e como se observa. **O modelo de J.J. Thomson para o átomo:** descrição do estado fundamental e a possibilidade de emissão quantizada no átomo de hidrogênio. Os acertos e dificuldades do modelo.

III.1.2. Os resultados do experimento de Rutherford que levam à proposta de átomo nucleado. A estimativa do tamanho do núcleo a partir da comparação dos resultados experimentais da seção de choque diferencial versus energia incidente com os previstos no modelo do átomo nucleado de Rutherford.

III.1.3. O modelo de Bohr para a estrutura e as transições no átomo de hidrogênio e seu acordo com os espectros de emissão e absorção de experimentais de radiação eletromagnética. Os picos característicos dos espectros de produção de Raios-X e o modelo de camadas para os elétrons dos átomos (discussão qualitativa). **O experimento de Frank-Hertz.**

III.1.4 A regra de quantização de Bohr-Sommerfeld. Aplicações. Comparação com os resultados do modelo de Bohr para o átomo de H e da quantização de Planck para as oscilações harmônicas.

III.1.5. A estrutura fina do espectro do átomo de hidrogênio e o efeito relativístico na dinâmica dos constituintes do átomo de H.

III.2 O caráter dual das partículas materiais

III.2.1 A proposta (teórica) de de Broglie do caráter dual das partículas materiais: razões físicas e as relações que vinculam o caráter ondulatório ao corpuscular na radiação eletromagnética e nas ondas de partículas materiais.

III.2.2 Possíveis ondas de partículas materiais com módulo de velocidade constante (partícula presa em uma caixa e o átomo de H) na proposta de de Broglie. Quantizações decorrentes.

III.2.3 A realidade do caráter ondulatório das partículas revelado pioneiramente no **experimento de Davisson e Germer.** Outros experimentos que revelam o caráter ondulatório das partículas materiais.

III.2.4 Os pacotes de onda na física ondulatória clássica – velocidade de fase e da onda, e as relações de dispersão que vinculam posição e número de onda, tempo e frequência da onda. **Uma interpretação das relações do pacote de onda de partículas - o princípio de incerteza de Heisenberg** para a posição-momento linear e para a energia e tempo. A energia mínima das partículas segundo o princípio de incerteza. Relação entre o tempo característico de um estado não estável e a indeterminação na energia do estado.

IV. A mecânica quântica (ondulatória) de Schroedinger. **tempo previsto: ~ 15 aulas**

IV.1. Bases da mecânica quântica: a interpretação probabilística de Max Born para as funções de onda de uma partícula ou o não determinismo no universo físico

quântico. As duas funções de onda possíveis: no espaço-tempo e as no momento-tempo – relação entre elas e o princípio de incerteza. As representações das grandezas físicas que dependem do momento quando se trabalha com a função de onda espaço-temporal. Valores mais prováveis, valores médios e desvios padrão de grandezas físicas de uma partícula, e suas relações com as medidas destas grandezas. A interpretação das equações de autofunções de uma grandeza física e dos seus autovalores.

IV.2 A equação de Schroedinger dependente do tempo ou a equação para a função de onda da partícula no espaço real - tempo: a equação geral da mecânica quântica. A chamada equação de Schroedinger independente do tempo: **a equação dos estados estacionários para os potenciais conservativos.**

IV.3 Soluções das autofunções de energia de estados ligados da partícula sujeita a potenciais unidimensionais: (a) “a caixa” unidimensional de “paredes” infinitas; (a) “a caixa” de “paredes” finitas; (c) o oscilador harmônico. O efeito de “penetração em paredes”. A quantização da energia e sua relação com a normalização da função de onda.

IV.4 Solução da equação de auto-estado para uma partícula livre: a impossibilidade de normalização.

IV.5 A interpretação da conservação do número de partículas. Uma equação de continuidade para a densidade de probabilidade: os fluxos de incidência, de reflexão e de transmissão. **Os coeficientes de incidência, reflexão e transmissão. Os auto-estados de energia de potenciais não ligados unidimensionais:** o degrau e a barreira finita unidimensionais. **O efeito túnel.**

IV.6. A equação de Schroedinger para potenciais tridimensionais: o poço infinito. **Estados degenerados em energia.**

IV.7 A equação de Schroedinger para potenciais centrais tridimensionais: a conservação e quantização do momento angular do movimento relativo e de uma de suas componentes e os números quânticos associados.

IV.8. O átomo de hidrogênio: solução da equação de Schroedinger para estados estacionários do potencial coulombiano atrativo. A “degenerescência em energia” nos auto-estados de energia. Comparação dos resultados da mecânica quântica com o modelo de Bohr e os resultados experimentais. Os estados mistos e as transições atômicas.